

Deponiemodelle in Ökobilanzen

Seminarreihe "Urbaner Metabolismus"
TU-Wien
Abt. Abfallwirtschaft / Ressourcenmanagement
1. April 2005
Wien

Von Gabor Doka

Doka Ökobilanzen, Zürich
TUWien@doka.ch



Inhaltsübersicht

A. Entsorgungsmodelle in Produkt-Ökobilanzen LCA

Modelle für die Schweizerische Inventar (LCI) Datenbank [ecoinvent 2000](#) (EI2K)

Modellierung abfall-spezifischer Belastungen in [Deponien](#)

B. Aspekte der Bewertung von Langzeit-Emissionen in LCA

Werturteile bei der Bewertung von in Langzeit-Emissionen

Kurze Diskussion dieser Werturteile

Einführung

Ziel von Produkt-Ökobilanzen

- Abschätzungen der **gesamten potentiellen Umweltbelastung** eines Produktes, um weniger belastende Optionen zu finden

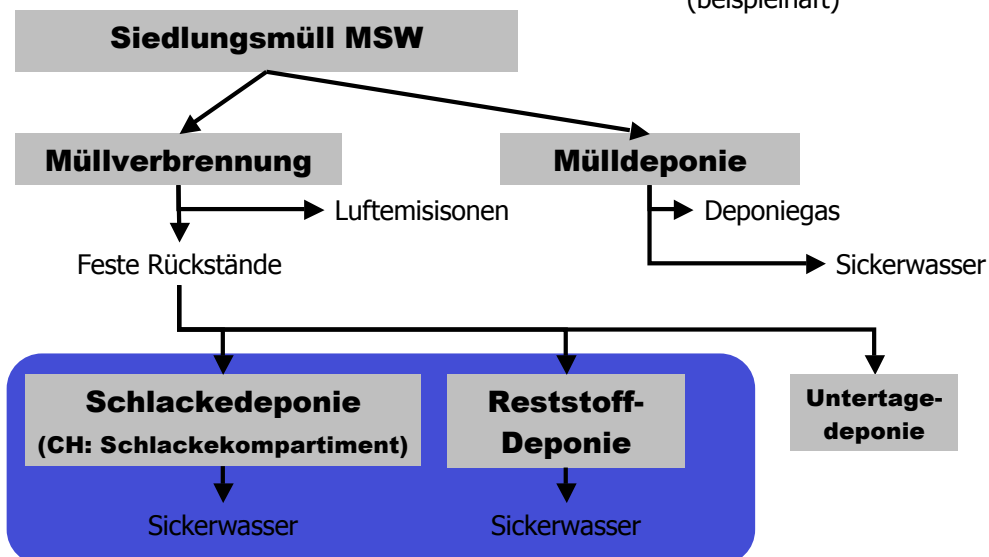
Entsorgungsmodelle in Produkt-Ökobilanzen

- Abschätzungen der **bei der Produkt-Entsorgung entstehenden Umweltbelastung** (z.B. Belastungen der Entsorgung von 1 kg Spanplatte)
- Diese Daten **ergänzen** die Lebenszyklus-Analyse des Produktes (z.B. Herstellung + Gebrauch + Entsorgung von 1 kg Spanplatte)

Im Folgenden werden die Entsorgungsmodelle der umfangreichen Schweizerischen Inventar Datenbank ecoinvent vorgestellt (s. www.ecoinvent.ch)

Prozessketten der Entsorgung

(beispielhaft)

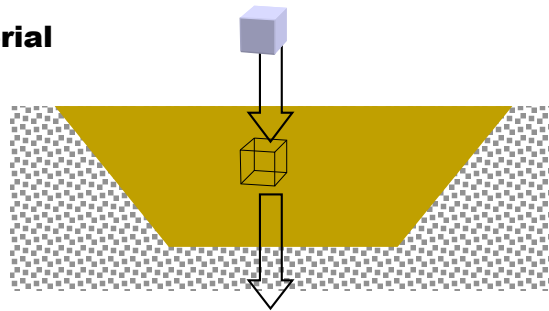


Deponie-Emissionen in LCA

- Welche Emissionen entstehen bei der Deponierung eines spezifischen Abfall-Produktes?

x kg Abfall-Material

Deponie



Emission aus X im Sickerwasser = ?

Allgemeine Probleme

- Deponien sind **extrem heterogene Systeme** mit komplexen chemischen und hydrologische Prozessen
- Oft lückenhafte Information zu **Abfall-Zusammensetzung, -Qualität und -Entsorgungswege**
- **Prozesse in der Deponie** sind bei weitem noch nicht völlig erforscht oder verstanden
- Während die Betriebsdauer einer Deponie z.B. 30 Jahre dauern kann, dauern die verursachten Emissionen bis in die **ferne Zukunft** :
Wie können diese künftigen Emissionen inventarisiert werden?
- Grundsätzliche Schwierigkeit:
Jeder künftige Prozess kann nicht heute gemessen werden.
Deponiemodelle müssen immer auf gewisse Annahmen abgestützt werden und sind so in inhärenter Weise **nicht validierbar** oder beweisbar.

Erste Deponiemodelle

1. Prognosen aus thermodynamischen Modellen (Sundqvist 1997)

Gutes bottom-up Konzept, leidet aber an der Komplexität der Prozesse.

2. Abschätzungen aus Labor-Auswaschungstests

(Zimmermann et al. 1996)

[Auswaschtest an Abfallmaterial](#) (24h bei pH 4). Ausgewaschene Menge wird der künftig emittierbaren Menge proportional- oder gleichgesetzt.

3. Verfeinerung von Labor-Auswaschungstests (1. Idee für EI2K)

[Sequenzielle Auswaschnungs-Tests](#) ergeben die Verteilung der Schadstoffe in Mineralphasen unterschiedlicher Stabilität (Salze, Karbonate, Oxide, Sulfide, Kristallin). Emittierbare Menge abschätzen aus "langfristig unstablen Mineralphasen".

Aber: langfristig können *alle Phasen geochemisch verwittern* und zu verfügbaren Phasen werden:

Es gibt kein absehbares Ende der Sickerwasseremissionen
(A. Johnson et al. EAWAG, Th. Sabbas et al. BOKU Wien).

Ansatz in ecoinvent 2000

4. Projektives Modell aus Feldmessungen (Doka 2003)

Feldmessungen an Sickerwasser (keine Labortests) verglichen mit dem Deponieinhalt ergeben den Startpunkt des [effektiv \(heute\) beobachteten Deponieverhaltens](#).

Daraus werden Modelle erzeugt, welche das gemessene Verhalten [in die Zukunft projizieren](#) und dabei wichtige Parameter wie Hydrologie und pH-Entwicklung berücksichtigen.

→ **Angepasste Projektion
des gegenwärtig beobachteten Verhaltens**

Dies stellt einen top-down Ansatz dar. Er benötigt ebenfalls theoretische Ansätze, ist aber verankert am heute beobachtetem Verhalten im Feld.

Abfallspezifische Emissionen

Schadstoffe werden als **chemische Elemente** erfasst (z.B. Kupfer, Cadmium, Zink). Berechnung von abfallspezifischen Emissionen:

$$\text{Emission}_{X,n} = \text{Zusammensetzung}_X \cdot \text{TK}_{X,n}$$

wobei X = chemisches Element and n = Output-Pfad
TK = Transfer-Koeffizient

Transfer-Koeffizienten (TK) werden aus dem Durchschnittsbetrieb hergeleitet und beschreiben das Verhalten der Entsorgungstechnologie.

Resultierende Emissionen sind:

- *Abfallspezifisch* (gemäss der Abfallzusammensetzung) und
- *spezifisch für die Entsorgungs-Technologie* (gemäss TKs).

Ecoinvent 2000 Deponiemodelle

- 41 verschiedene chemische Elemente werden modelliert
- Basiert auf Schweizer Klimabedingungen (Niederschlag)
- Modelle berücksichtigen Evapotranspiration*
- Modelle berücksichtigen bevorzugte Sickerwasserwege* in der Deponie
- Modelle berücksichtigen künftigen pH-Einbruch (in Abhängigkeit der Säurepufferkapazitäten des Deponieinhaltes)
- Exponentielle oder lineare Dynamik der Emission für verschiedene Substanzen (lösliche Salze, Oxianionen, andere).
- Siedlungsmülldeponien: TKs werden der abfallspezifischen Abbaubarkeit des Abfalls angepasst
- Emissionen ins Grundwasser (Sickerwasser) und in die Luft (nur bei Siedlungsmülldeponien)
- Sickerwasser aus Siedlungsmülldeponien wird behandelt (zusätzlicher Downstream-Prozess)

* verlangsamt die Deponieentwicklung/-verwitterung

Modell-Vereinfachungen

- Niederschlags- und Evapotranspirations-Raten sind konstant.
- Masseerhaltung: Infiltration = Sickerwasser-Output (keine Lateral-Bewegungen des Wassers).
- Keine Veränderung der Porosität, Hydrologie oder Geometrie des Deponiekörpers
- Keine Erosion oder Sedimentation an der Oberfläche
- Die benötigte Zeit bis die Sickerwasseremissionen das Grundwasser erreichen, wurde als vernachlässigbar berechnet.
- Kein Transport von Partikeln. Nur Lösungen im Sickerwasser.
- Künftige Verwitterung von glasigen Phasen nicht berücksichtigt.

Unsicherheit in Transferkoeffizienten

Daten in ecoinvent 2000 werden als **Mittelwert** erfasst, aber auch als geschätzten 95%-Vertrauensbereich (**worst / best case**).

'Worst case' Transferkoeffizient

Der **gesamte Deponieinhalt** wird emittiert: $TK_{\text{worst}} = 100\%$

Mittelwert Transferkoeffizient

Emissionen der ersten 60'000 Jahre

= geschätzte Zeit bis zur nächsten

Schweizer-Mittelland-bedeckenden Eiszeit

Die Schweizer Ökosphäre wird völlig umgeformt

≅ "*ökologischer Planungshorizont*" von Ökobilanzen

'Best case' Transferkoeffizient

Implizit gegeben durch Mittelwert und worst case sowie der gewählten **lognormalen Wahrscheinlichkeits-Verteilung**

Zeitperioden im Inventar

Um eine grobe zeitliche Auflösung der Emissionen zu haben, werden im Inventar vonecoinvent **zwei Zeitperioden** unterschieden:

Kurzfristige Emissionen (short-term, ST):

Emissionen zwischen 0 und 100 Jahren nachdem der verursachende Prozess begann (d.h. Abfall-Ablagerung)

Langfristige Emissionen (long-term, LT):

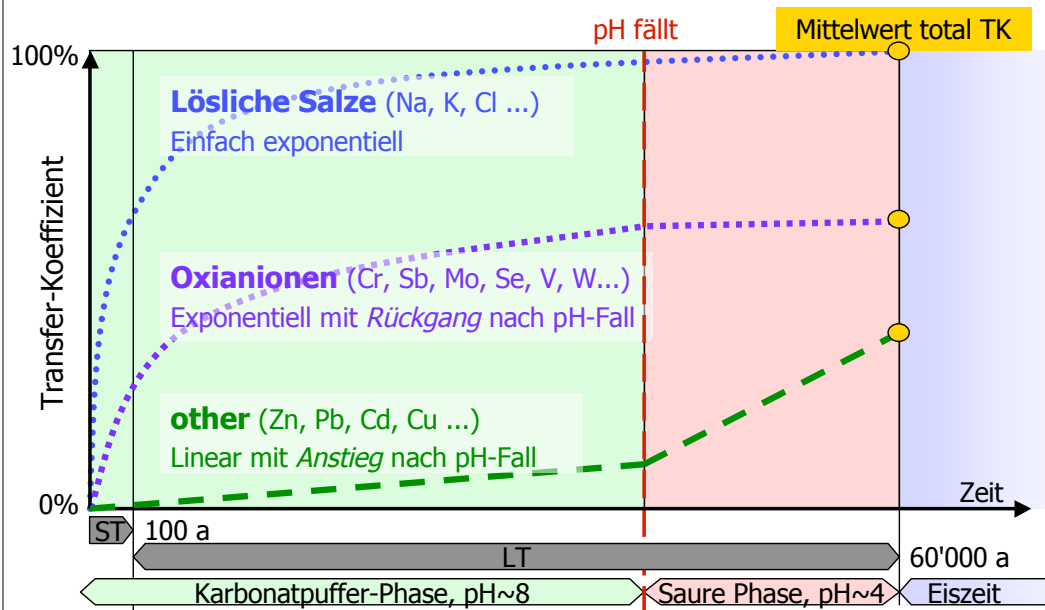
Emissionen 100 oder mehr Jahre nachdem der verursachende Prozess begann. Unbegrenzte, open-end Periode.

→ Die Deponiemodelle benötigen demnach **zwei Sätze** von TKs, um Emissionen zu inventarisieren:

ST-TK für die Emissionen zwischen 0 und 100 Jahren

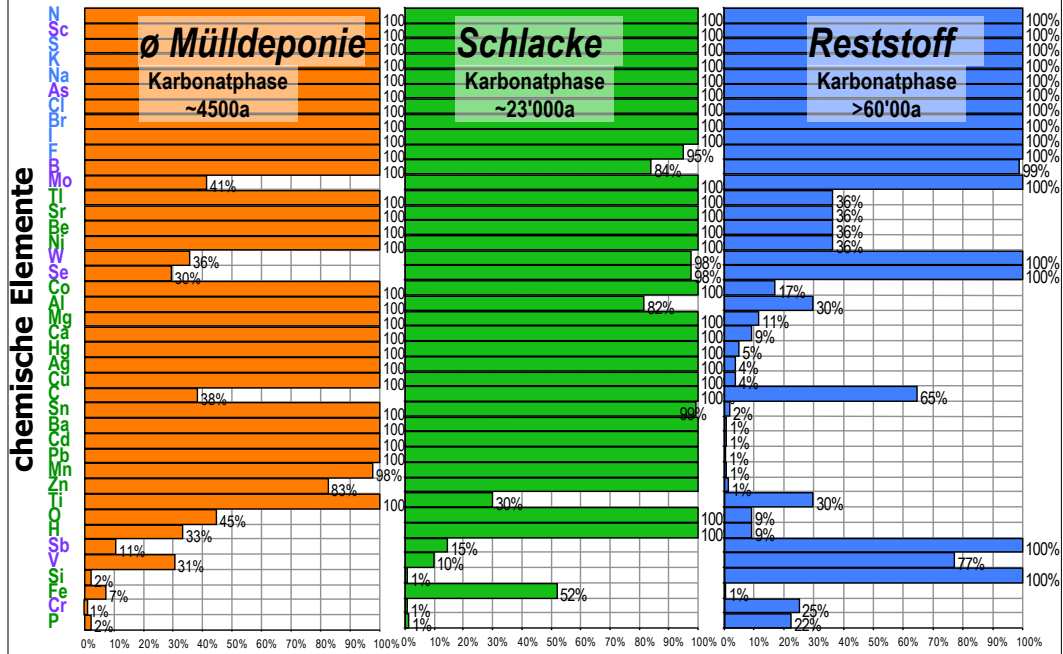
LT-TK für die Emissionen zwischen 100 to 60'000 Jahren

Typologie der Transfer-Dynamik



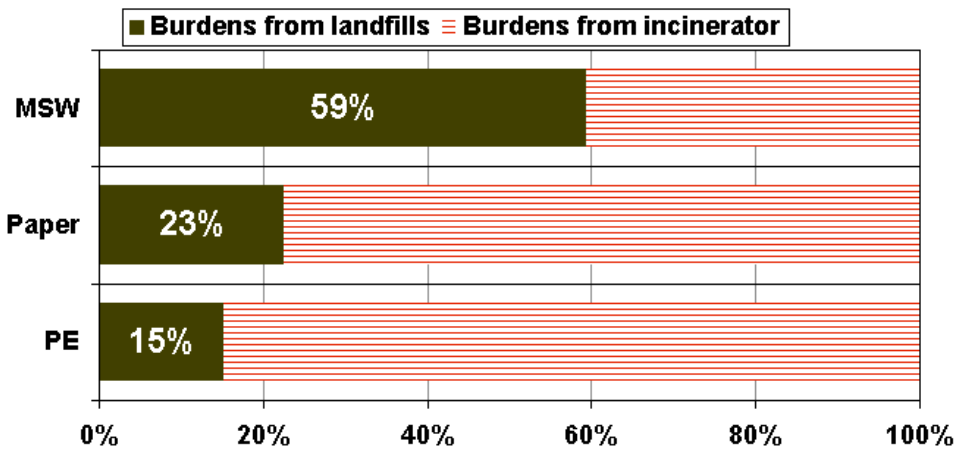
Vergleich der Transferkoeffizienten

Mittelwert total Deponie-Transferkoeffizienten (0 - 60'000a)



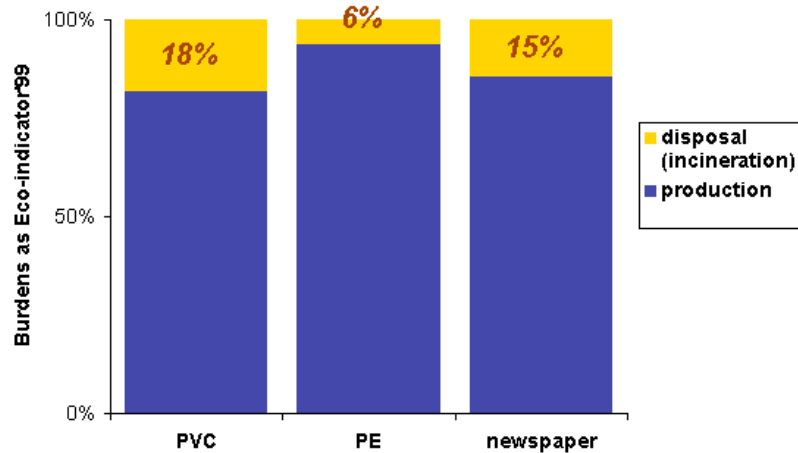
Resultate Entsorgungsprozess

Umweltbelastung der Müllverbrennung inkl. nachfolgender Deponierung der Rückstände, in Eco-indicator'99-Punkten



Resultate Produkt-LCA

Umweltbelastung für **Herstellung und Entsorgung** verschiedener Materialien, in Eco-indicator'99-Punkten



B. Bewertung langfristiger Emissionen

State-of-the-art Ökobilanzen bewerten Umweltbelastungen:

- entlang der ganzen Lebenszyklus-Prozesskette eines Produktes
 - ungeachtet nationaler oder geographischer Grenzen
 - ungeachtet zeitlicher Grenzen
 - ungeachtet der Konzentrationen von Schadstoff-Emissionen
- Alle diese Belastungen werden erfasst, um eine bloße Verschiebung von Belastungen zu vermeiden (**burden shifting**):
- innerhalb von Lebenszyklus-Phasen (z.B. vom Gebrauch zur Herstellung)
 - von einer Nation zu einer anderen
 - von der Gegenwart in die Zukunft
 - von *einem* grossen Verschmutzer zu *vielen* verteilten Quellen
- **Künftige Belastungen müssen in LCA erfasst sein, um eine bloße Verschiebung der Belastung auf künftige Generationen zu vermeiden.**

Weglassen künftiger Belastungen?

Diskontierung (Nicht-Beachtung) künftiger *Gewinne* ist üblich in der *Ökonomie*. Vereinzelt wird daraus abgeleitet, künftige *Belastungen* in LCA seien ebenfalls wegzulassen.

- Hellweg et al.* haben gezeigt, dass Diskontierung künftiger Belastungen aus Gründen reiner Zeitpräferenz **unethisch** ist.
- Würde das bloße *Verschieben* von Belastungen in die Zukunft in Ökobilanzen gleich bewertet wie deren *Vermeidung*, würden dadurch ökologisch nicht nachhaltige Vorgehen gebilligt.

Vereinzelt wird geäußert Deponieemissionen seien wegzulassen, weil sie zu unsicher seien.

- Viele Teilprozesse in LCA, auch der Herstellungsphase, sind *sehr* unsicher. Einzelne, angeblich unsichere Prozesse wegzulassen und andere zu behalten, ist konzeptlos.

* Hellweg S. et al. "Discounting and the Environment: Should Current Impacts be weighted differently than Impacts harming Future Generations?" Int. J. LCA, 2002

Ziele & Verbesserungen

Künftige Belastungen wegzulassen widerspricht in fundamentaler Weise der Aufgabe der Ökobilanzierung, Belastungs-Potentiale ganzheitlich **sichtbar zu machen**.

Einige Werthaltungen sind **nicht vereinbar** mit den konzeptionellen Zielen der Ökobilanzierung und sind daher - bei aller Toleranz für alternative Standpunkte - **in der Ökobilanzierung nicht zulässig**.

Natürlich können und sollen die hier vorgestellten, groben Deponiemodelle **verbessert** werden. Die Unsicherheit in den Modellen soll aber nicht dazu führen, deren Resultate zu ignorieren. Eine grobe Schätzung ist *immer* besser als ein 'blinder Fleck'.

*"Errors using inadequate data
are much less than those using no data at all."
Charles Babbage (1792-1871)*

Schlussfolgerungen

- Deponierung (und Entsorgung) ist oft ein relevanter Teil in Ökobilanzen
→ Entsorgungsprozesse sollten in Ökobilanzen berücksichtigt werden
- Aktuelle Deponiemodelle sind grob, aber stellen den aktuellen Wissensstand bezüglich Abfallzusammensetzungen und Deponieverhalten dar (wir wissen oft viel mehr über Produkteigenschaften als über Abfall-Eigenschaften)
→ Weitere Modellverbesserungen sind möglich
(z.B. Anpassungen aus LCIA Bodenmodellen?)
- Abschätzungen künftiger Deponie-Emissionen sind schwierig. Um üblichen ethischen Standards und den Zielen ökologischer Nachhaltigkeit zu genügen, dürfen Belastungen künftiger Generationen in LCA nicht weggelassen werden.
→ Keine Diskontierung künftiger Belastungen

Öffentliches Online-Paper

Jüngste Veröffentlichung über meine ecoinvent-Entsorgungsmodelle

Doka, Gabor & Hischier, Roland
"Waste Treatment and Assessment of Long-Term Emissions"
International Journal of LCA, 10 LCA (1) 2005, p. 77-84

Vollständige Publikation (8 S.), als freies PDF von:

www.scientificjournals.com/sj/lca/Abstract/ArtikelId/7073

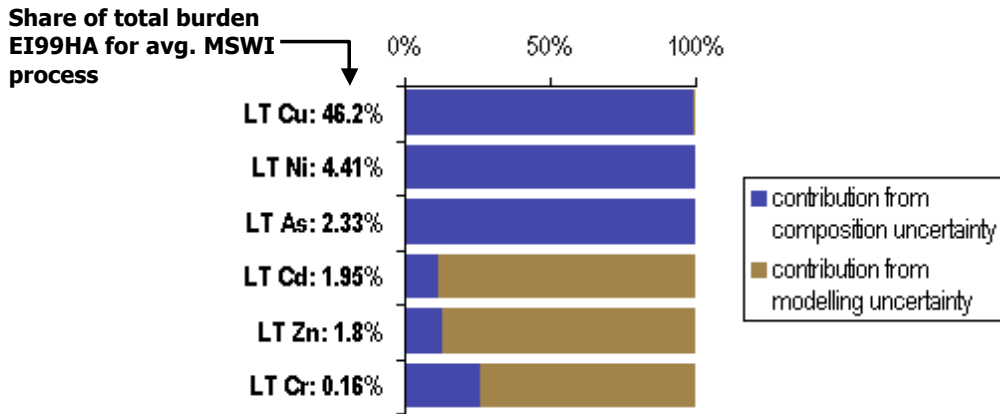
**Danke für Ihre
Aufmerksamkeit**



Contributions to uncertainty

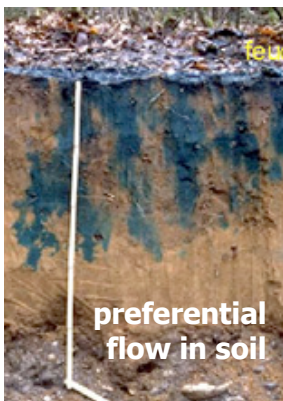
What are the main contributions to uncertainty?

1. Variability of waste composition
2. Variability of models (TKs in MSWI and landfills)



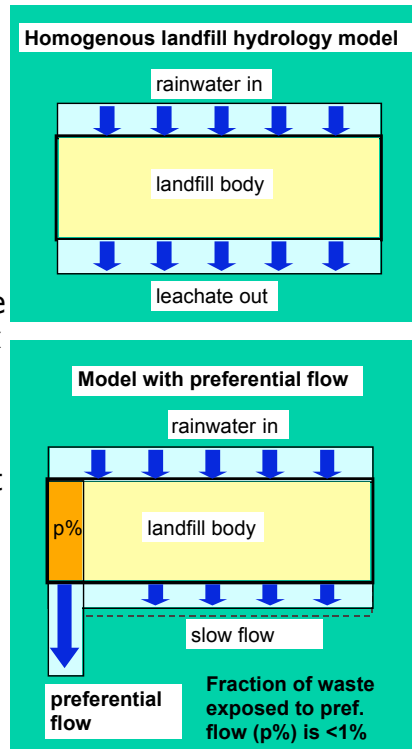
Preferential Flow

Infiltration water does not flow homogeneously through a landfill. A fraction of the water uses "quick routes" while the rest flows through the matrix.



If part 'preferential leachate' flows more quickly, then 'matrix leachate' must flow slower than a homogeneous model would predict to maintain mass balances

This slows down weathering processes



Relevance of LT groundwater emissions in LCIA results of the ecoinvent 2000 database

